ChinaXiv合作期刊

心理学报 2022, Vol. 54, No. 8, 881−891
*Acta Psychologica Sinica*
© 2022 中国心理学会
https://doi.org/10.3724/SP.J.1041.2022.00881

# 创造性思维中语义搜索过程：基于答案累积时间函数和语义相似性的量化分析*

陈嫣然[1] 梁 正[1] 赵庆柏[1] 黄 宇[1]
李松清[1,2] 于全磊[1] 周治金[1]
([1]青少年网络心理与行为教育部重点实验室，华中师范大学心理学院，湖北省人的发展与心理健康重点实验室，武汉 430079)
([2]海军工程大学电子工程学院，武汉 430079)

chinaXiv:202303.08473v1

**摘 要** 通过描绘发散性思维测验(物品多用途，AUT)中答案生成在累积函数和语义相似性等一系列参数上的量化特征，揭示创造性思维的语义搜索过程。结果发现：(1)新颖AUT条件中，语义搜索呈现与自由联想类似的负加速特点，但搜索速度较寻常AUT条件更慢。(2)新颖AUT条件中所生成的答案与题目(即物品)均具有较低的语义相似性，且显著小于寻常AUT条件。(3)新颖AUT条件中生成的答案比寻常AUT条件表现出显著更低的聚类程度，其中可聚类答案和未聚类答案与题目的语义相似度均较低，且不存在显著差异，二者在新颖性上也不存在显著差异。以上结果说明了创造性思维的语义信息搜索过程具有与自由联想类似的激活扩散特征，但总体搜索速度较慢。新颖性要求使得个体在最初搜索时便开始摆脱题目的语义限制而进行远距离搜索(避免就近搜索)，并倾向于在每个语义场中只生成一个答案(避免局部搜索)，但也可能会在远离题目的语义场中生成多个同类别答案。

**关键词** 创造性思维，语义搜索，负加速，聚类，语义相似性
**分类号** B842

## 1 引言

创造是人们产生新颖、适用且有社会价值的产品或想法的过程。在创造性思维过程中，个体会根据问题情境广泛地激活语义概念，组合新颖信息，形成新颖联结，从而创造性地解决问题(Kenett, Gold, & Faust, 2018；赵庆柏 等, 2015)。创造性思维的关键在于生成并选择新颖信息(Bink & Marsh, 2000)，其中个体在知识网络中的信息搜索过程尤为重要(Silvia et al., 2013)，它为后续的新颖信息选择和整合奠定基础。因此，本研究在对现有创造性思维中语义信息搜索的相关理论进行梳理分析的基础上，借鉴语义网络激活的量化分析方法，探究创造性思维中语义信息搜索的动态特征。

创造性思维包含发散性思维和聚合性思维两种形式。发散性思维基于问题情境，从多方面、多角度探求新颖观点和答案(滕静 等, 2018)；而聚合性思维则是聚焦目标，整合已有观点和信息，形成新颖联结以解决问题(Mednick, 1962)。从某种程度而言，发散性思维主要是为创造性问题解决提供各种可能，而聚合性思维更多地是对已激活信息的筛选和整合。因此，创造性思维的语义搜索，特别是新颖、远距离语义信息的提取，更多地发生在发散性思维过程中。目前主要有两种涉及发散思维语义搜索过程的理论：创造性联想理论(associative theory of creativity)和创造性执行理论(the executive theory

收稿日期: 2021-08-04
* 华中师范大学中央高校基本科研业务费项目(CCNU19TD019, CCNU19ZN022)资助。
陈嫣然和梁正为共同第一作者。
通信作者: 赵庆柏, E-mail: zqbznr@mail.ccnu.edu.cn；于全磊, E-mail: yulei19881987@mail.ccnu.edu.cn；
周治金, E-mail: zhouzj@mail.ccnu.edu.cn

ChinaXiv合作期刊



of creativity) (Taylor & Barbot, 2021; Volle, 2018)。

Mednick (1962)提出的创造性联想理论首次将创造性思维与语义记忆联系起来，其认为创造性的想法来源于语义记忆中现有概念的新颖组合，即将弱相关或远距离的概念连接成新颖和适用的概念(Benedek et al., 2012)。在该理论的视角下，发散性思维的语义搜索过程是一种从近处到远处的激活扩散联想加工，个体可以通过激活不寻常的联结而产生新颖想法，且该过程是自发的、不受控制的，个体创造力的高低与自身的语义记忆结构有关(Beaty, Nusbaum, & Silvia, 2014; Olson et al., 2021; Volle, 2018)。研究发现，发散性思维的加工过程确实具有无意识加工特征(Dijksterhuis & Meurs, 2006)，趋近于自由联想(Chrysikou et al., 2014)。由此，语义网络的激活扩散模型可以用来描述创造性思维的语义信息搜索过程(Collins & Loftus, 1975)。根据该模型，个体的语义记忆呈网络式结构，由概念以及概念间的语义联系构成，语义激活的传导依赖于概念间关联强度。在问题解决过程中，个体大概率会优先激活与问题情境关联强度较大的近距离概念，然后再向远处扩散到其他的概念，激活能量会在此过程中逐渐消耗殆尽。语义距离越远，激活所需要的时间越长(Beaty et al., 2017)。

在这样的语义激活扩散模式下，发散性思维的无意识语义搜索过程可能和自由回忆任务一样，表现出负加速的时间特征和聚类的空间特征。有研究者采用累积答案个数的时间变化曲线来探究语义信息搜索，发现在自由回忆任务中答案报告随时间呈负加速特征，累积答案个数的时间函数符合双曲线函数(Gruenewald & Lockhead, 1980)，即 $n(t) = at / (b + t)$。其中 n 代表累积生成的答案数量，t 代表时间，a 是双曲线的渐近线，代表个体潜在可以产生的答案总和，b 代表的是一个时间基准，其反映的是个体搜索速度与潜在答案的交互，b 越大，个体搜索速度越低。这种语义信息提取的负加速特征一方面反映了语义激活过程的能量衰减，另一方面也可能反映了对已提取项目进行重新选择的抑制过程(Gruenewald & Lockhead, 1980)。除负加速外，自由回忆任务的语义信息搜索还表现出聚类特征(Friendly, 1977)，即个体会搜索相关的语义场，并集中连续提取该语义场内的项目，然后再跳转到其他语义场，就像动物觅食一样(Hills et al., 2015)。语义场代表概念或意义的集合(比如“宠物”)，当搜索到某一语义场时就会产生一组相关的概念(比如“猫”、“狗”等)，从而构成了聚类。

尽管发散性思维具有很强的无意识、自动化加工特征，但其加工过程依然需要认知控制的参与(滕静 等, 2018)。创造性执行理论认为，创造性思维是一个自上而下的过程，个体需要认知控制以有效地搜索语义网络 (Beaty, Nusbaum, & Silvia, 2014; Olson et al., 2021)。由于发散性思维的关键在于要激活新颖的语义信息，这就需要在语义搜索过程中抑制占优势地位、关联度较高的常见语义概念(Benedek & Neubauer, 2013)，避免“就近”搜索，从而建立远距离联结。同时，由于答案之间较高的相似性会降低人们对答案新颖性的评价(Acar & Runco, 2019)，创造性语义搜索过程中也可能会避免在同一个语义场中提取多个答案的“局部”搜索行为。因此，相比于无任何限制的自动语义激活扩散来说，创造性思维的语义搜索过程应该具有不同的量化特征，具体可能表现在负加速和聚类等特征指标上。

关于创造性思维中的语义搜索过程，有研究者先构建了高创造性个体的语义网络结构，再采用随机漫步模型模拟激活在语义网络上的传播特性。Kenett 等人(2014)采用自由联想任务构建高、低创造力组的语义网络，通过对比发现，高创造力组的语义网络具有更高的小世界属性和更短的平均路径长度。语义网络的平均路径长度与发散思维水平负相关(Benedek et al., 2017)，短的平均路径长度意味着长程语义连接的存在，这使得高创造力个体在语义搜索过程中能更加高效快速地激活远距离的新颖信息(Kenett, Levy, et al., 2018)。之后，Kenett 和 Austerweil (2016)采用随机漫步模型模拟创造性思维中的语义信息激活过程。随机漫步模型是假设“步行者”从网络中的某个节点(概念)开始，根据连接强度权重来选择向相邻的哪个节点移动(Kumar et al., 2021)。结果发现，高创造性对应的语义网络结构允许漫步过程检索到更多独特的概念。尽管 Kenett 等人的研究在一定程度上探究了创造活动中的语义加工，但研究是建立在高创造性个体的语义网络结构基础之上，因此无法揭示一般个体创造性思维中的语义搜索过程，另外随机漫步模型也未考虑语义搜索中的抑制控制过程。

相对地，Hass (2017)采用物品多用途任务(Alternative Uses Test, AUT)来考察一般个体在发散性思维中的语义搜索过程。实验要求被试在 2 分钟内对给定物品想出尽可能多的新颖用途，并采用双曲线函数拟合个体累积答案生成的时间序列，采

chinaXiv:202303.08473v1

ChinaXiv合作期刊



chinaXiv:202303.08473v1

用斜率差异算法计算并判断答案的聚类情况。结果发现，答案生成随时间呈负加速特征，这与自由回忆任务的特征是一致的；但答案生成的聚类程度很低，趋近于不聚类。作者认为，发散思维中的语义搜索倾向于远离物品项目进行信息提取，执行控制功能可能在其中发挥了重要作用(Wang et al., 2017; 郭芳 等, 2019; 滕静 等, 2018)。

然而 Hass 的研究可能存在一些重要的问题。首先，他的研究结果发现，发散思维任务的答案产生未出现聚类特征，前后两个答案相互不影响。但一系列研究表明发散思维依赖于自下而上的联想激活与自上而下的执行功能之间的协同合作(Beaty, Silvia, et al., 2014; Benedek et al., 2017; Kenett et al., 2016)。尽管个体可以通过执行功能来抑制任务无关或已提取信息的激活，尽量避免就近搜索，但发散思维过程中的长时记忆提取依然受到语义网络中概念连接的远近和强度的影响(Beaty et al., 2017; Volle, 2018)。Ohlsson (2011)提出的顿悟重配理论指出，顿悟的信息激活依赖于信息间的联结强度，通过正负反馈可以改变信息间激活的相对强度，从而抑制激活较强的凸显信息，诱发激活较弱的新颖信息，不过这需要一个动态演变的过程。因此, Hass 的结果似乎过于极端，并不合理。分析其原因可能是，其研究所使用的斜率差异算法源于自由回忆任务，本质上是时间聚类方法，并不一定适用于发散性思维任务。由于产生新颖观点所需时间比寻常观点要长(Beaty et al., 2017; Rominger et al., 2018), 根据时间进行观点聚类，可能导致本该属于同一语义场的观点未被划入同一类别，从而减少整体的聚类程度。其次，该研究中被试只完成了发散思维任务，缺少相应的对照条件，所有与自由回忆任务的比较均是理论上定性的对比，缺少数据支持。

为解决前人研究的不足，本研究选取寻常 AUT 任务作为对照条件，而未选取自由回忆任务。因为创造性思维的语义搜索过程中，个体不仅要考虑答案的新颖性，还要考虑答案的适宜性(Huang et al., 2018)。自由回忆任务与 AUT 任务在两个方面均存在较大差异，难以区分两个任务的差异具体是由创造性思维的哪个特征引发的。本研究选取的寻常 AUT 任务要求被试对给定物品想出尽可能多的用途，但不做新颖性要求。这样，通过两个条件在适宜性要求上的匹配，来明确作为创造性思维的关键——新颖性要求对语义搜索过程的影响。此外，本研究选择语义相似度作为答案生成聚类算法的基础，以解决时间聚类算法可能不适用于研究创造性思维语义搜索过程的问题。

根据创造性联想理论，发散性思维以语义网络为基础，其语义搜索过程可能具有语义激活扩散模式的相关特点，累积答案个数的时间函数可能符合双曲线函数。但由于创造性观点的产生往往需要远距离语义的激活，创造性任务的语义搜索速度可能比寻常任务更慢。据此提出假设 1：新颖 AUT 的语义信息搜索过程会出现负加速的时间特征，且搜索速度较寻常 AUT 更慢。同时，创造性执行理论认为，创造性思维的语义搜索过程需要认知控制等功能来抑制近距离的优势反应，进而进行远距离搜索以激活新颖想法。据此提出假设 2：新颖 AUT 中个体更多地搜索了距离题目更远的语义场，其答案与题目之间的语义相似性显著低于寻常 AUT。除了避免就近搜索，由于答案之间较高的相似性会降低个体对答案新颖性的评价(Acar & Runco, 2019)，因此创造性思维中个体可能同样避免在某一语义场中寻找类似答案的局部搜索行为。据此提出假设 3：新颖 AUT 条件中答案聚类程度显著低于寻常 AUT 条件。

## 2　研究方法

### 2.1　被试

采用 G-Power 3.1 软件，预测在显著性水平 $\alpha = 0.05$ 且中等效应(Cohen's $d$ = 0.50)时，达到 80%的统计力水平的总样本量至少为 34 名。通过自由报名的方式招募 41 名在校大学生(其中 9 名男生)参加实验，实验前告知被试实验注意事项，并签署知情同意书。实验结束后，被试均获得相应的报酬。在所有被试中 1 名被试因答案少于 2 个而被剔除，1 名被试因事后反馈未能按实验要求操作而被剔除，所以有效被试数为 39 名(其中 9 名男生，年龄在 18~22 岁)。

### 2.2　实验设计

采用单因素被试内实验设计，实验条件为任务类型，分为新颖 AUT 条件和寻常 AUT 条件，通过指导语进行操控。因变量为被试自由产生观点的数量和时间、被试对答案的自评分数以及语义相似度等系列指标。

### 2.3　实验任务

任务分为 3 类：练习任务、实验任务和评价任务。

练习任务为报动物名任务，目的是让被试熟悉实验程序操作界面：被试根据屏幕上所给的动物种

ChinaXiv合作期刊



类(如：宠物)，在规定时间内想出尽可能多的属于这一类别的动物。

实验任务为物品多用途任务(AUT)，分为寻常AUT 和新颖 AUT 两类任务。寻常 AUT 要求被试根据屏幕上所给出的物品在规定时间内尽可能多地想出有用的用途；新颖 AUT 则要求被试在规定时间内尽可能多地想出新颖且有用的用途。寻常AUT任务与新颖AUT任务中使用的任务词一致(钥匙、铅笔、纽扣、鞋子)，均为日常生活用品。被试在两种实验条件下需要各完成 2 个相应的 AUT 任务。“钥匙”、“铅笔”、“纽扣”和“鞋子”4 个任务词会平衡分配于不同实验条件中。

评价任务包括难度评价、新颖性评价和语义相似度评价。难度评价要求被试对 4 个 AUT 任务进行7点评分(1分表示非常容易，7分表示非常困难)。新颖性评价要求被试对自己生成的答案进行5点评分(1 分表示一点都不新颖，5 分表示非常新颖)。在逐一评价各 AUT 任务的答案时，各 AUT 任务内部答案序列的顺序随机，但 4 个 AUT 任务顺序保持不变。语义相似度评价参考前人研究中采用的 4 点评分方法(Hass & Beaty, 2018)，在同一 AUT 任务中将所有答案进行两两配对，并按随机顺序呈现给被试，要求被试对各个 AUT 任务内的答案对进行相似度评价(1 分表示完全不相似，2 分表示稍微相似，即可以用抽象的概念概括，3 分表示相似，即使用相同特征，4 分表示非常相似属于同种类别)。根据新华字典中任务词的释意得到任务词最常用的用途参与两两评价，以评估题目与答案之间的语义关系。

### 2.4 实验程序

实验任务顺序如图 1 所示，均使用 Matlab GUI 完成，每个任务之间会设置休息界面。其中报动物名任务是练习任务，时长为 1 分钟，目的是让被试熟悉操作界面。在整个实验任务中被试需要先完成 2 个寻常 AUT 任务，再完成 2 个新颖 AUT 任务，任务词随机分配在这 4 个 AUT 任务中，每个 AUT 任务时长为 3 分钟。自评任务是要求被试对 AUT 任务和自己在 AUT 任务中生成的答案进行评价，包括难度评价、新颖性评价及语义相似度评价，其中新颖性评价和语义相似度评价的顺序随机，所有评价任务均不限时。

AUT 任务界面如图 2 所示，当被试阅读完上一界面的指导语并点击“我已理解”后跳转到此界面，在界面正上方的位置显示任务词，右上角开始 180 s 的倒计时，要求被试每当想出一个用途时点击“输入答案”，并在右边横框内输入答案，再点击“提交答案”。此时答案会出现在下方的列表中，横框内的答案会被清空，之后的答案均会依次显示在列表中。每次点击“输入答案”和“提交答案”按钮都会记录时间，同时在点击“提交答案”时记录横框内的字符信息。当倒计时结束时出现弹框提示被试结束回答，并点击“返回”切换到下一指导语界面。

### 2.5 数据分析

使用 SPSS 26.0 进行描述统计等统计分析，使用 MATLAB 2019b 完成非线性拟合及自下而上的层次聚类分析。

任务词呈现时刻为任务开始时刻，当前答案的生成时间本应为上一个答案的“提交答案”时刻至当前答案点击“输入答案”时刻的间隔。但由于许多被试在任务过程中习惯性地在点击“提交答案”后直接点击“输入答案”以激活横框，导致被试真正思考答案的时间未能准确记录，所以在本研究中当前答案的回答时间为上一个答案的“提交答案”时刻与当前答案点击“提交答案”时刻的间隔。当前答案的累积时间为任务开始时刻与当前答案点击“提交答案”时刻的间隔。

在拟合累积答案个数曲线时，针对每个被试在不同的 AUT 任务中产生的答案序列分别做非线性

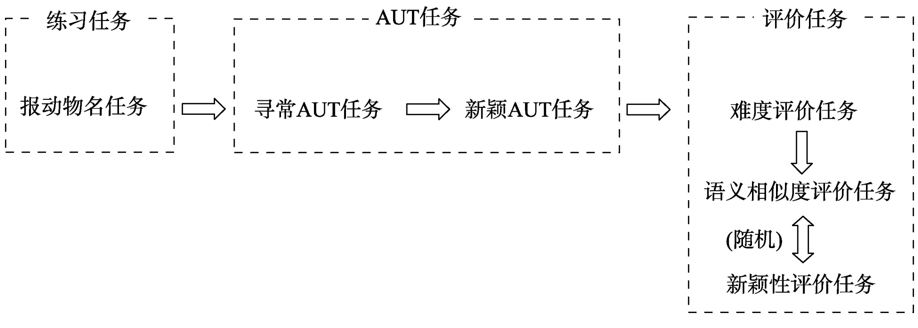



图 1 实验流程图

chinaXiv:202303.08473v1

ChinaXiv合作期刊






图 2　AUT 任务操作界面

拟合。使用 Matlab 中 fittype 函数，选择非线性最小二乘拟合的方法拟合 $y=\frac{ax}{b+x}$，其中 $x$ 代表任务时间; y 代表累积生成答案的个数，拟合函数的参数 a 代表双曲线的渐近线，其意义是潜在答案的总和；拟合函数的参数 b 是一个关于搜索速度的参数，b 越大，个体搜索速度越低，鲁棒性选择 Bisquare 的方法。

根据被试对两两配对答案自评的语义相似度结果，分别计算题目与答案的语义关系以及答案之间的语义关系。对各被试答案生成的先后顺序进行排序，将序号作为每条答案的位置信息。其中，各位置上答案与题目的语义关系变化可以反映被试在发散思维过程中受题目语义影响的动态变化；而答案之间的语义关系则用来进一步计算被试生成答案的聚类情况。通过自下而上的层次聚类方法，优先将语义距离最近的答案两两聚成一类，并重新计算此类与其他答案的语义距离，再将距离最近的答案两两聚成一类，以此类推最终所有答案都被聚成一类。具体方法是先用语义相似度评分计算答案间的语义距离，计算方式为语义距离 = (5 − 语义相似度) / 4。再使用 MATLAB 中的聚类函数“ward”内平方距离法计算聚类。聚类完成后，选取适合的聚类标准将具体答案标记为可聚类和未聚类。被试在评价过程可能会偶然地连续提交，而导致部分配对答案漏评，对于此部分答案对的语义相似度(共 30 个缺省评价试次，约为总评价试次的 6‰)，使用专家评估的方法让 5 名研究生根据任务要求的 4 点评分的方法进行评分，最后取平均分补齐缺省项，一致性系数为 0.89。

## 3　研究结果

### 3.1　基础指标统计结果

对不同实验条件下，被试的平均答案个数、平均答案时间、平均新颖性、平均答案字数和平均任务难度做配对样本 $t$ 检验。结果如表 1 所示，寻常条件的平均答案个数显著大于新颖条件($t$ (38) = 6.29, $p < 0.001$, Cohen’s $d$ = 1.01)，寻常条件的平均答案时间($t$ (38) = −7.47, $p < 0.001$, Cohen’s $d$ = −1.20)、答案新颖性($t$ (38) = −9.08, $p < 0.001$, Cohen’s $d$ = −1.45)和任务难度($t$ (38) = −4.53, $p < 0.001$, Cohen’s $d$ = −0.73)均显著小于新颖条件，答案字数在不同实验条件间无显著差异($p > 0.05$)。

**表 1　不同实验条件下基础指标平均值及 $t$ 检验结果**

| 基础指标 | 实验条件 | 平均值 | 标准差 | $t$ | 95% CI |
|---|---|---|---|---|---|
| 答案个数 | 寻常 | 8.31 | 1.99 | 6.29*** | [1.19, 2.32] |
| | 新颖 | 6.55 | 1.83 | | |
| 平均答案时间(s) | 寻常 | 19.01 | 3.80 | −7.47*** | [−10.14, −5.81] |
| | 新颖 | 26.98 | 7.23 | | |
| 平均答案新颖性 | 寻常 | 2.23 | 0.51 | −9.08*** | [−1.05, −0.67] |
| | 新颖 | 3.10 | 0.48 | | |
| 平均答案字数 | 寻常 | 4.81 | 1.68 | 0.01 | [−0.59, 0.59] |
| | 新颖 | 4.81 | 1.60 | | |
| AUT 难度 | 寻常 | 3.88 | 1.29 | −4.53*** | [−0.19, −0.71] |
| | 新颖 | 5.17 | 0.94 | | |

注：*** $p < 0.001$

**表 2　不同实验条件下基础指标的相关关系**

| 实验条件 | 基础指标 | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|---|
| 寻常条件 | 1.答案个数 | 1 | | |
| | 2.回答时间 | −0.75*** | 1 | |
| | 3.答案新颖性 | 0.32* | −0.27 | 1 |
| | 4.任务难度 | −0.18 | 0.07 | −0.08 |
| 新颖条件 | 1.答案个数 | 1 | | |
| | 2.回答时间 | −0.85*** | 1 | |
| | 3.答案新颖性 | 0.09 | −0.07 | 1 |
| | 4.任务难度 | 0.08 | −0.04 | 0.01 |

注：* $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

表 2 为不同实验条件下，基础指标(答案个数、回答时间、新颖性评分、答案字数、任务难度)两两相关关系。结果发现，在寻常条件下，答案个数与回答时间存在显著负相关($r$ = −0.75, $p < 0.001$)，答案个数与答案新颖性存在显著正相关($r$ = 0.32, $p$ = 0.047)；在新颖条件下，答案个数与回答时间存在显著负相关($r$ = −0.85, $p < 0.001$)，答案个数与答案新颖性不存在显著相关($p > 0.05$)。

### 3.2　累积答案个数曲线拟合结果

对每个被试在每个 AUT 任务中产生的答案序

chinaXiv:202303.08473v1

ChinaXiv合作期刊



列分别做 $y = \frac{ax}{b+x}$ 的非线性拟合，发现有 3 个答案序列(寻常条件下 2 个，新颖条件下 1 个)的拟合不收敛，这些数据在本部分被移除，但在语义关系分析部分保留。剩余 153 个成功收敛的拟合试次平均 $R^2$ 为 0.96, RMSE 为 0.38，平均拟合曲线如图 3 所示。

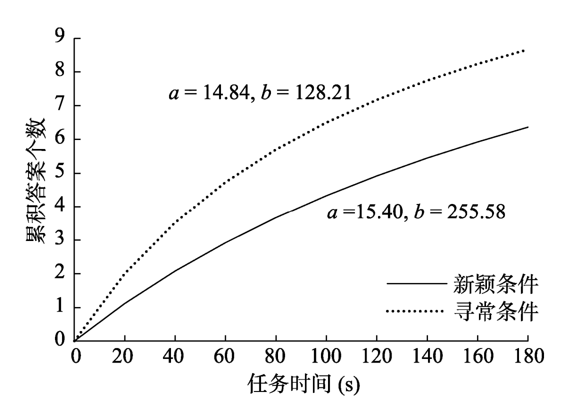



图 3 累积答案个数随时间变化的拟合曲线
(拟合参数为中位数)

采用 Kolmogorov-Smirnov 法对拟合参数 a、b 进行正态性检验，发现不符合正态分布，因此使用中位数和最值表示拟合参数的估计情况，并使用曼−惠特尼秩和检验比较不同实验条件下参数 a、b 的差异(表 3)。结果表明，不同实验条件下参数 a 无显著差异($p > 0.05$)，但是新颖条件下的参数 b 显著高于寻常条件($p < 0.001$)。

### 3.3 语义关系计算结果

(1)题目与答案的语义关系

不同实验条件下题目与各位置上答案的语义相似度均值如表 4 所示。使用独立样本 *t* 检验发现，除了位置 6 和位置 9，在寻常条件下其他位置上答案与题目的语义相似度均显著高于新颖条件。

参考 Hass (2017)的研究，使用三阶多项式函数拟合各位置上答案与题目的语义相似度，如图 4 所示。在寻常条件下，拟合函数为 $y = -0.0085x^3 + 0.1875x^2 - 1.2721x + 4.3536$, $R^2 = 0.92$，当 $x = 5.31$ 时当前位置上答案与题目的语义相似度达到极小值；在新颖条件下，拟合函数为 $y = -0.0048x^3 + 0.078x^2 - 0.3875x + 1.9073$, $R^2 = 0.74$，当 $x = 3.86$ 时当前位置上答案与题目的语义相似度达到极小值。

(2)答案间的语义关系

根据语义相似度的评分规则，取语义距离(d)小于等于 0.25、0.5、0.75 为 3 个聚类标准，分别计算不同实验条件下答案序列的聚类程度。由于寻常条件和新颖条件的答案个数存在显著差异，所以用可聚类答案占总答案个数的百分比代表聚类程度(如表 5 所示)。使用独立样本 *t* 检验比较不同实验条件下聚类程度的差异。结果表明，在所有聚类标准下，寻常条件的聚类程度均高于新颖条件($t(154)_{d \le 0.25} = 3.43$, $p = 0.001$, Cohen's $d = 0.55$, 95%

**表 3 不同条件下拟合曲线参数的差异检验结果**

| 参数 | 条件 | 中位数 | 最小值 | 最大值 | *U* | *W* | *Z* | *p* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| a | 寻常 | 14.84 | 6.08 | 46573.17 | 2789.00 | 5870.00 | −0.90 | 0.370 |
| | 新颖 | 15.40 | 4.30 | 21090.66 | | | | |
| b | 寻常 | 128.24 | 33.79 | 568476.19 | 1889.00 | 4970.00 | −4.09 | <0.001 |
| | 新颖 | 255.58 | 65.67 | 301612.79 | | | | |

**表 4 不同实验条件题目与各位置答案的语义相似度均值与 *t* 检验结果**

| 位置 | 实验条件 | 答案个数 | 语义相似度($M \pm SD$) | 实验条件 | 答案个数 | 语义相似度($M \pm SD$) | *t* | 95% CI |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 寻常 | 78 | 3.41 ± 1.07 | 新颖 | 78 | 1.59 ± 1.01 | 10.89*** | [1.49, 2.15] |
| 2 | 寻常 | 78 | 2.28 ± 1.13 | 新颖 | 78 | 1.42 ± 0.78 | 5.53*** | [0.55, 1.17] |
| 3 | 寻常 | 78 | 1.87 ± 0.97 | 新颖 | 78 | 1.31 ± 0.67 | 4.22*** | [0.30, 0.83] |
| 4 | 寻常 | 78 | 1.83 ± 0.96 | 新颖 | 74 | 1.30 ± 0.64 | 4.08*** | [0.28, 0.80] |
| 5 | 寻常 | 76 | 1.72 ± 0.93 | 新颖 | 65 | 1.22 ± 0.52 | 4.06*** | [0.26, 0.75] |
| 6 | 寻常 | 72 | 1.71 ± 0.94 | 新颖 | 55 | 1.53 ± 0.86 | 1.15 | [−0.13, 0.51] |
| 7 | 寻常 | 63 | 1.68 ± 0.93 | 新颖 | 35 | 1.34 ± 0.73 | 2.00* | [0.02, 0.68] |
| 8 | 寻常 | 42 | 1.89 ± 1.10 | 新颖 | 24 | 1.21 ± 0.41 | 3.60*** | [0.30, 1.06] |
| 9 | 寻常 | 31 | 1.61 ± 0.96 | 新颖 | 13 | 1.31 ± 0.48 | 1.41 | [−0.13, 0.74] |
| 10 | 寻常 | 21 | 2.05 ± 1.20 | 新颖 | 7 | 1.00 ± 0.00 | 4.00*** | [0.50, 1.60] |

注：$*p = 0.048$, $***p < 0.001$。

chinaXiv:202303.08473v1

ChinaXiv合作期刊



chinaXiv:202303.08473v1

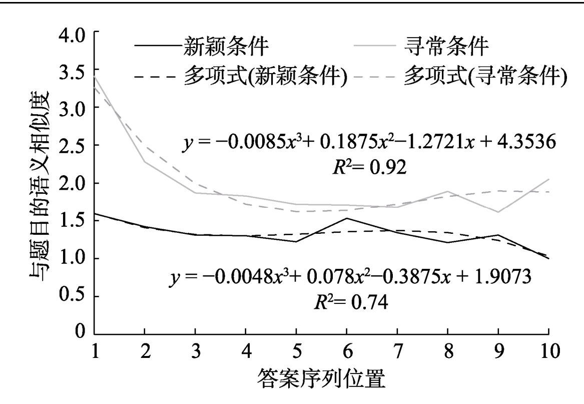



图 4　各位置上答案与题目语义相似度的变化曲线及多项式拟合曲线

**表 5　各个聚类标准下可聚类答案百分比**

| 实验条件 | 平均可聚类答案百分比 | | |
|---|---|---|---|
| | d ≤ 0.25 | d ≤ 0.50 | d ≤ 0.75 |
| 寻常 | 0.31 | 0.58 | 0.78 |
| 新颖 | 0.17 | 0.38 | 0.60 |

注：d 代表语义距离

CI: [0.06, 0.21]; $t$ $(154)_{d\le0.5}$ = 4.72, $p$ < 0.001, Cohen's $d$ = 0.76, 95% CI: [0.11, 0.27]; $t$ $(154)_{d\le0.75}$ = 4.66, $p$ < 0.001, Cohen's $d$ = 0.75, 95% CI: [0.10, 0.26])。

对于聚类属性的分析，选取 d ≤ 0.5 的聚类标准来呈现结果。需要说明的是，在 d ≤ 0.25、d ≤ 0.5 和 d ≤ 0.75 的聚类标准下，聚类属性的统计分析结果是基本一致的。考虑到 d ≤ 0.25 时的聚类标准过高，去除无法聚类答案的 19 名被试的数据后仅剩 20 人数据，而当采用宽松的聚类标准 d ≤ 0.75 时，所得结果与 d ≤ 0.5 时一致，因此在文中仅呈现了较为适中的 d ≤ 0.5 时的计算结果。

在 d ≤ 0.5 的聚类标准下，根据聚类计算的结果统计类别总个数，其中不可聚类的答案各计作一个类别(类大小等于 1)纳入总个数中。寻常条件下平均类别总个数为 5.55 ± 1.67，新颖条件下平均类别总个数为 5.09 ± 1.57，独立样本 $t$ 检验显示二者不存在显著差别($p$ > 0.05)。

以实验条件(寻常条件 vs 新颖条件)和聚类情况(未聚类 vs 可聚类)为自变量，以被试平均答案新颖性以及答案与题目的平均语义相似度为因变量，分别进行 2 × 2 的重复测量方差分析(去除 1 名因在寻常条件下无聚类答案的被试数据和 7 名因在新颖条件下无聚类答案的被试数据)。描述统计结果如表 6 和图 5 所示。方差分析结果显示，实验条件和聚类情况对新颖性的主效应均显著[实验条件：$F$ (1, 30) = 59.56, $p$ < 0.001, partial $\eta^2$ = 0.67；聚类情况：$F$ (1, 30) = 27.03, $p$ < 0.001, partial $\eta^2$ = 0.47]，两者交互作用显著，$F$ (1, 30) = 4.88, $p$ = 0.035, partial $\eta^2$ = 0.14。简单效应分析结果显示，在寻常条件下，可聚类答案的新颖性评分显著低于未聚类答案，$F$ (1, 30) = 21.21, $p$ < 0.001, partial $\eta^2$ = 0.41；而在新颖条件下，可聚类答案与未聚类答案的新颖性评分不存在显著差异($p$ > 0.05)。

实验条件和聚类情况对答案与题目的语义相似度主效应均显著[实验条件：$F$ (1, 30) = 59.02, $p$ < 0.001, partial $\eta^2$ = 0.66；聚类情况：$F$ (1, 30) = 23.09, $p$ < 0.001, partial $\eta^2$ = 0.44]，两者交互作用显著，$F$ (1, 30) = 21.60, $p$ < 0.001, partial $\eta^2$ = 0.42。简单效应分析结果显示，在寻常条件下，可聚类答案与题目的语义相似度显著高于未聚类答案，$F$ (1, 30) = 37.13, $p$ < 0.001, partial $\eta^2$ = 0.55；而在新颖条件下，

**表 6　两种实验条件下不同聚类情况答案的新颖性评分与各答案和题目的语义相似度**

| 实验条件 | 聚类情况 | 被试个数 | 新颖性评分 ($M$ ± $SD$) | 各答案和题目的语义相似度($M$ ± $SD$) |
|---|---|---|---|---|
| 寻常条件 | 未聚类 | 31 | 2.67 ± 0.88 | 1.63 ± 0.46 |
| | 可聚类 | 31 | 1.96 ± 0.51 | 2.45 ± 0.54 |
| 新颖条件 | 未聚类 | 31 | 3.23 ± 0.61 | 1.37 ± 0.39 |
| | 可聚类 | 31 | 3.06 ± 0.74 | 1.43 ± 0.50 |

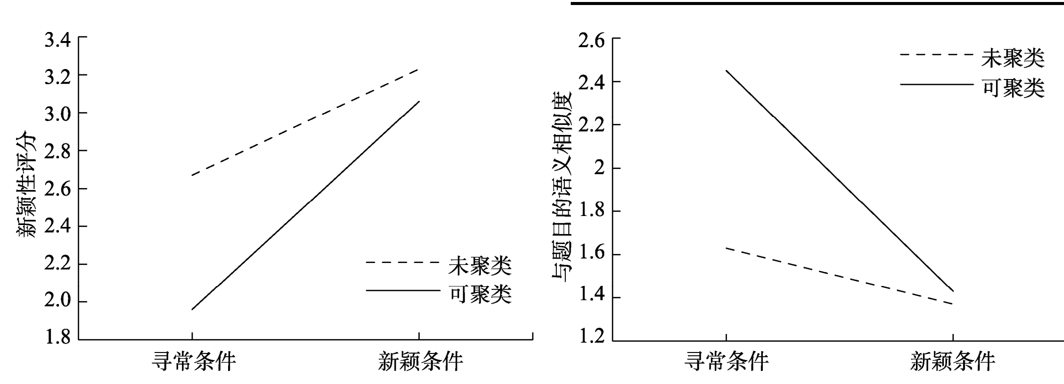



图 5　不同实验条件和聚类情况下答案的新颖性评分(左图)以及题目与答案的语义相似度(右图)

ChinaXiv合作期刊



可聚类答案和未聚类答案在与题目的语义相似度上不存在显著差异($p > 0.05$)。

## 4 讨论

创造性思维的语义激活具有无意识加工特点(Dijksterhuis & Meurs, 2006), 因而应表现出与自由联想类似的激活特征; 同时, 创造性思维的语义激活又受到执行功能的调控作用(Olson et al., 2021), 这使得其应与自由联想的语义激活特征有一定程度的差异。为探究这一问题, 本研究选取了新颖 AUT 作为实验条件, 该任务已被证实能有效展现创造性思维的语义搜索过程(Hass, 2017)。同时, 本研究选取寻常 AUT 作为对照条件, 在该任务中, 要求被试对给定物品想出尽可能多的用途, 不做新颖性要求, 因此其加工过程相对更贴近自由联想。研究结果发现, 被试在新颖 AUT 条件中产生的答案新颖性显著高于寻常条件, 验证了本范式在探究创造性语义搜索过程研究中的可用性。在此基础上, 本研究通过比较新颖 AUT 和寻常 AUT 在答案生成个数、生成时间以及答案累积时间函数和语义相似性等一系列量化特征参数上的差异, 探究创造性思维中语义信息搜索过程。

首先, 根据创造性联想理论(Mednick, 1962), 创造性思维的语义搜索过程是一种由近及远的激活扩散联想加工, 类似于自由联想(Chrysikou et al., 2014)。在这种激活模式下, 个体会优先激活与问题情境关联度较大的近距离概念, 然后再向外扩散至远距离概念(Collins & Loftus, 1975)。语义距离越远, 激活所需要的时间越长(Beaty et al., 2017), 累积激活概念个数的时间函数将符合双曲线函数(Gruenewald & Lockhead, 1980)。相对于寻常 AUT 条件, 新颖 AUT 条件要求激活远距离的新颖答案, 因此其语义搜索速度应更慢。本研究结果发现, 新颖 AUT 和寻常 AUT 的累积答案个数随时间的变化均符合双曲线函数, 即表现为负加速特征, 这与前人的研究结果是一致的(Gruenewald & Lockhead, 1980; Hass, 2017)。在具体参数上, 参数 a 代表了潜在答案的总和, a 越大代表个体可能产生的潜在答案越多。由于本研究为被试内设计, 新颖 AUT 和寻常 AUT 条件均来自同一被试, 故而两条件在参数 a 上不存在显著差异。参数 b 代表了搜索速度, b 越大代表个体搜索速度越低。新颖条件下参数 b 显著大于寻常条件, 这与新颖条件下答案生成时间显著长于寻常条件的结果是一致的。更慢的语义信息搜索速度可能是由于新颖答案与题目具有更远的语义距离(Kenett, 2019), 也可能是由于在搜索过程中对优势寻常语义信息的抑制(白学军, 姚海娟, 2018)。

其次, 根据创造性执行理论, 创造性思维不仅需要自下而上的语义网络的激活扩散, 还需要自上而下的执行控制功能的参与, 以更有效地搜索语义网络(Beaty, Nusbaum, & Silvia, 2014; Olson et al., 2021)。根据语义网络的激活扩散模型(Collins & Loftus, 1975), 与问题题目相近、关联强度大的寻常信息会被优先激活, 其激活强度越大, 越不利于远距离、新颖概念的激活。因此, 在创造性语义搜索过程中, 执行控制功能主要作用便是抑制近距离、凸显信息的激活, 压制寻常观点的提取(滕静 等, 2018)。也就是说, 执行控制功能能帮助被试在答案产生的过程中, 摆脱题目情境的束缚和限制, 避免"就近搜索"。序列位置答案与题目的语义关系能反映个体在发散思维的语义搜索过程受题目语义限制的情况(Beaty et al., 2017)。参考 Hass (2017)的研究, 本研究发现三阶多项式函数可以很好地拟合序列位置答案与题目的语义相似度关系。对于寻常 AUT 条件, 首个答案与题目具有较高的语义相似度, 随后语义相似度逐渐降低, 并在平均 5.31 个答案时降至极小值。这说明, 寻常 AUT 的语义搜索更符合激活扩散模型, 由题目开始, 由近及远, 并在大约 5.31 个答案时达到首批搜索的语义网络边缘。然而, 对于新颖 AUT 条件, 各个位置上的答案始终与题目具有较低的语义相似度, 且显著低于寻常 AUT 条件。这说明, 在创造性思维的语义搜索中, 个体在最初搜索时便开始摆脱题目的语义限制, 避免了就近搜索。拟合函数结果显示, 新颖 AUT 条件下, 答案和题目的语义相似性在平均 3.86 个答案时降至极小值。这可能反映了, 与寻常 AUT 相比, 新颖 AUT 条件下被试更好地抑制了近距离信息的激活, 因而通过更少的步骤(答案个数)便可达到首次搜索的语义网络边缘。

最后, 自由联想的语义搜索过程会展现出聚类特征(Friendly, 1977), 这是由于个体在语义搜索过程中会集中连续提取某一语义场内的所有信息, 再跳转至其他语义场(Hills et al., 2015)。在同一语义场内, 信息之间具有较高的关联度和相似性。然而, 信息间较高的相似性会降低人们对信息新颖性的评价(Acar & Runco, 2019), 因此在创造性思维中, 个体可能会在一定程度上避免在同一个语义场中提取多个答案的局部搜索行为, 从而导致答案聚类

chinaXiv:202303.08473v1

ChinaXiv合作期刊



chinaXiv:202303.08473v1

程度的降低。本研究结果显示，在所有的聚类标准下，新颖 AUT 条件中的答案聚类程度均显著小于寻常 AUT 条件，验证了理论上的推测。需要注意的是，新颖 AUT 条件中的答案聚类程度明显大于零，即新颖 AUT 的答案产生出现了一定程度的聚类。这与 Hass 的研究结果并不一致(Hass, 2017)，但和理论预期是一致的。语义网络中的信息提取依赖于概念连接的远近和强度，尽管个体可以通过执行功能来抑制寻常的、优势的近距离信息，但这种抑制作用应该是有限的。此外，虽然新颖 AUT 条件中答案的聚类程度显著低于寻常 AUT 条件，但二者总的类别个数却不存在显著差异。类别数代表了被试在 AUT 任务中搜索的语义场个数(Hass, 2017)。可以推测，在新颖和寻常 AUT 任务中被试搜索了相似数量的语义场，不同的是，寻常 AUT 任务中被试倾向于从同一个语义场中提取报告多个答案，而在新颖 AUT 任务中被试相对更多地从一个语义场中报告一个答案，这也可能是新颖条件下答案个数少于寻常条件的原因。

尽管新颖 AUT 条件中答案产生出现了一定程度上的聚类，但这种局部搜索并未降低答案的新颖性。结果显示，在寻常 AUT 条件中，可聚类答案的新颖性评分显著低于未聚类答案的新颖性，然而在新颖 AUT 条件中，可聚类答案与未聚类答案同样具有较高的新颖性，二者并不存在显著差异。进一步分析发现，寻常 AUT 条件中可聚类答案与题目的语义相似度显著高于未聚类答案，而新颖 AUT 条件中可聚类答案和未聚类答案一样，与题目的语义相似度均较低。这说明，寻常 AUT 条件中局部搜索发生在与题目较近的语义场，而新颖 AUT 条件中局部搜索则可能发生在远离题目的语义场内。

值得说明的是，本研究中语义相似度评价采用的是被试的自我主观评价，而并未采用先前研究常用的潜在语义分析方法(Hass, 2017; Kenett, 2019)。在潜在语义分析方法中，词汇之间的语义相似性计算方法是基于某已有的海量语料库来评估两个词汇在同一语境(如段落)下同时出现的概率，该方法计算而得的语义相似性相对客观，不依赖于生成答案的个体。然而，创造性思维的语义搜索过程是个体从自身的长时记忆语义网络中提取信息。由于个体语义网络结构本身存在差异(Kenett et al., 2014; Li et al., 2021; Olson et al., 2021)，同一词汇对的语义相似程度对于不同个体可能并不相同，由此同一答案的产生对于不同的个体可能代表了不同的语义搜索过程。因此，本研究要求被试对产生答案间的语义相似性进行自评，能更好地反映该被试真实的语义搜索过程。

本文存在以下不足和可以继续探究的问题：首先，实验流程中每个被试均是先完成寻常 AUT 任务，后完成新颖 AUT 任务，并未进行顺序的平衡。这样操作是由于本实验通过任务要求来进行自变量的操纵，在寻常 AUT 中要求被试尽可能多地想出有用的用途，不过随着语义网络的扩散以及被试自发的新颖性寻求动机的作用，被试依然会产生出新颖答案，如果在完成寻常 AUT 之前要求被试先完成新颖 AUT，那么新颖的任务要求可能会对后续的寻常 AUT 任务产生启动或者暗示，从而影响寻常 AUT 的语义信息搜索过程。当然，未进行顺序匹配，可能会产生一定的练习效应，不过从新颖 AUT 条件的平均解答时间显著长于寻常 AUT 条件这一结果可以推测，可能存在的练习效应并未对新颖 AUT 任务产生能影响最终结果的实质性助益。其次，创造力依赖于联想(即自发激活语义网络)和控制(即策略性搜索语义网络)过程的之间的协调平衡(Taylor & Barbot, 2021)。执行控制在创造性思维中发挥了重要作用，如抑制寻常的凸显信息，激活新颖的远距离信息。未来的研究可进一步探究执行功能在创造性思维的动态语义搜索过程中的具体作用，为相关理论提供量化实证支持。此外，Gilhooly 等人(2007)发现，被试在 AUT 任务中除了会基于长期记忆检索已知的用途，还可能使用了一些策略，如利用物体的属性(如形状、质地、重量)来构建用途。因此，未来研究可以进一步探究思维策略在创造性思维语义搜索过程中的作用。

## 5　结论

本研究通过比较新颖 AUT 和寻常 AUT 任务在答案生成累积函数和语义相似性等一系列量化特征参数的异同，发现与自由联想相似，创造性思维的语义信息搜索过程呈现负加速特征，但搜索速度更慢。与自由联想不同，创造性任务中的新颖性要求会抑制个体在题目附近进行就近搜索，使其更倾向于激活远离题目的新颖语义信息，并可能在较远的语义场内进行局部搜索。

## 参　考　文　献

Acar, S., & Runco, M. A. (2019). Divergent thinking: New methods, recent research, and extended theory. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts, 13*(2), 153–158.

ChinaXiv合作期刊



chinaXiv:202303.08473v1


Bai, X. J. & Yao, H. J. (2018). Differences in cognitive inhibition between persons with high and low creativity: Evidences from behavioral and physiological studies. *Acta Psychologica Sinica, 50*(11), 1197–1211.

[白学军, 姚海娟. (2018). 高低创造性思维水平者的认知抑制能力: 行为和生理的证据. *心理学报, 50*(11), 1197–1211.]

Beaty, R. E., Christensen, A. P., Benedek, M., Silvia, P. J., & Schacter, D. L. (2017). Creative constraints: Brain activity and network dynamics underlying semantic interference during idea production. *Neuroimage, 148*, 189–196.

Beaty, R. E., Nusbaum, E. C., & Silvia, P. J. (2014). Does insight problem solving predict real-world creativity? *Psychology of Aesthetics, Creativity & the Arts, 8*(3), 287–292.

Beaty, R. E., Silvia, P. J., Nusbaum, E. C., Jauk, E., & Benedek, M. (2014). The roles of associative and executive processes in creative cognition. *Memory & Cognition, 42*(7), 1186–1197.

Benedek, M., Kenett, Y. N., Umdasch, K., Anaki, D., Faust, M., & Neubauer, A. C. (2017). How semantic memory structure and intelligence contribute to creative thought: A network science approach. *Thinking & Reasoning, 23*(2), 158–183.

Benedek, M., & Neubauer, A. C. (2013). Revisiting Mednick's model on creativity-related differences in associative hierarchies. Evidence for a common path to uncommon thought. *Journal of Creative Behavior, 47*(4), 273–289.

Benedek, M., Neubauer, A. C., & Könen, T. (2012). Associative abilities underlying creativity. *Psychology of Aesthetics, Creativity & the Arts, 6*(3), 273–281.

Bink, M. L., & Marsh, R. L. (2000). Cognitive regularities in creative activity. *Review of General Psychology, 4*(1), 57–78.

Chrysikou, E. G., Weber, M. J., & Thompson-Schill, S. L. (2014). A matched filter hypothesis for cognitive control. *Neuropsychologia, 62*, 341–355.

Collins, A. M., & Loftus, E. F. (1975). A spreading-activation theory of semantic processing. *Psychological Review, 82*(6), 407–428.

Dijksterhuis, A., & Meurs, T. (2006). Where creativity resides: The generative power of unconscious thought. *Consciousness and Cognition, 15*(1), 135–146.

Friendly, M. L. (1977). In search of the M-gram: The structure of organization in free recall. *Cognitive Psychology, 9*(2), 188–249.

Gilhooly, K. J., Fioratou, E., Anthony, S. H., & Wynn, V. (2007). Divergent thinking: Strategies and executive involvement in generating novel uses for familiar objects. *British Journal of Psychology*, *98*(4), 611–625.

Gruenewald, P. J., & Lockhead, G. R. (1980). The free recall of category examples. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory, 6*(3), 225–240.

Guo, F., Zhao, Q. B., Hu, L. X., Fei, X. Y., Chen, S., & Zhou, Z. J. (2019). The roles of central executive sub-functions in different phases of creative thinking process. *Journal of Psychological Science, 42*(4), 790–797.

[郭芳, 赵庆柏, 胡丽霞, 费昕媛, 陈石, 周治金. (2019). 执行功能子成分对创造性思维不同认知加工阶段的影响. *心理科学, 42*(4), 790–797.]

Hass, R. W. (2017). Semantic search during divergent thinking. *Cognition, 166*, 344–357.

Hass, R. W., & Beaty, R. E. (2018). Use or consequences: Probing the cognitive difference between two measures of divergent thinking. *Frontiers in Psychology, 9*, 2327.

Hills, T. T., Todd, P. M., & Jones, M. N. (2015). Foraging in semantic fields: How we search through memory. *Topics in Cognitive Science, 7*(3), 513–534.

Huang, F., Tang, S., Sun, P., & Luo, J. (2018). Neural correlates of novelty and appropriateness processing in externally induced constraint relaxation. *Neuroimage, 172*, 381–389.

Kenett, Y. N. (2019). What can quantitative measures of semantic distance tell us about creativity? *Current Opinion in Behavioral Sciences, 27*, 11–16.

Kenett, Y. N., Anaki, D., & Faust, M. (2014). Investigating the structure of semantic networks in low and high creative persons. *Frontiers in Human Neuroscience, 8*, 407.

Kenett, Y. N., & Austerweil, J. L. (2016). Examining search processes in low and high creative individuals with random walks. In A. Papafragou, D. Grodner, D. Mirman, & J. C. Trueswell (Eds.), *Proceedings of the 38th Annual Meeting of the Cognitive Science Society* (pp. 313–318). Austin, TX: Cognitive Science Society.

Kenett, Y. N., Beaty, R. E., Silvia, P. J., Anaki, D., & Faust, M. (2016). Structure and flexibility: Investigating the relation between the structure of the mental lexicon, fluid intelligence, and creative achievement. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts, 10*(4), 377–388.

Kenett, Y. N., Gold, R., & Faust, M. (2018). Metaphor comprehension in low and high creative individuals. *Frontiers in Psychology, 9*, 482.

Kenett, Y. N., Levy, O., Kenett, D. Y., Stanley, H. E., Faust, M., & Havlin, S. (2018). Flexibility of thought in high creative individuals represented by percolation analysis. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 115*(5), 867–872.

Kumar, A. A., Steyvers, M., & Balota, D. A. (2021). A critical review of network-based and distributional approaches to semantic memory structure and processes. *Topics in Cognitive Science*. Advance online publication. https://doi.org/10.1111/tops.12548

Li, Y., Kenett, Y. N., Hu, W., & Beaty, R. E. (2021). Flexible semantic network structure supports the production of creative metaphor. *Creativity Research Journal*, *33*(3), 209–223.

Mednick, S. A. (1962). The associative basis of the creative process. *Psychological Review, 69*(3), 220–232.

Ohlsson, S. (Ed). (2011). *Deep learning: How the mind overrides experience*. Cambridge University Press: New York.

Olson, J. A., Nahas, J., Chmoulevitch, D., Cropper, S. J., & Webb, M. E. (2021). Naming unrelated words predicts creativity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *118*(25), e2022340118.

Rominger, C., Papousek, I., Perchtold, C. M., Weber, B., Weiss, E. M., & Fink, A. (2018). The creative brain in the figural domain: Distinct patterns of EEG alpha power during idea generation and idea elaboration. *Neuropsychologia, 118*, 13–19.

Silvia, P. J., Beaty, R. E., & Nusbaum, E. C. (2013). Verbal fluency and creativity: General and specific contributions of broad retrieval ability (Gr) factors to divergent thinking. *Intelligence, 41*(5), 328–340.

Taylor, C. L., & Barbot, B. (2021). Dual pathways in creative writing processes. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*. https://doi.org/10.1037/aca0000415

Teng, J., Shen, W. B., & Hao, N. (2018). The role of cognitive control in divergent thinking. *Advances in Psychological Science, 26*(3), 411–422.

[滕静, 沈汪兵, 郝宁. (2018). 认知控制在发散性思维中的作用. *心理科学进展, 26*(3), 411–422.]

Volle, E. (2018). Associative and controlled cognition in divergent thinking: Theoretical, experimental, neuroimaging evidence, and new directions. In R. E. Jung & O. Vartanian (Eds.), *The Cambridge handbook of the neuroscience of creativity* (pp. 333–360). Cambridge University Press.

Wang, M., Hao, N., Ku, Y., Grabner, R. H., & Fink, A. (2017).

ChinaXiv合作期刊



Neural correlates of serial order effect in verbal divergent thinking. *Neuropsychologia, 99*, 92–100.

Zhao, Q. B., Li, S. Q., Chen, S., Zhou, Z. J., & Cheng, L. (2015). Dynamic neural processing mode of creative problem solving. *Advances in Psychological Science, 23*(3), 375–384.

[赵庆柏, 李松清, 陈石, 周治金, 成良. (2015). 创造性问题解决的动态神经加工模式. *心理科学进展, 23*(3), 375–384.]

# Semantic search during creative thinking: A quantitative analysis based on cumulative distribution and semantic similarity of responses

CHEN Yanran[1], LIANG Zheng[1], ZHAO Qingbai[1], Huang Yu[1], LI Songqing[1,2], YU Quanlei[1], ZHOU Zhijin[1]

([1] *Key Laboratory of Adolescent Cyberpsychology and Behavior (CCNU), Ministry of Education; School of Psychology, Central China Normal University; Key Laboratory of Human Development and Mental Health of Hubei Province, Wuhan* 430079, *China*)

([2] *College of Electronic Engineering, Naval University of Engineering, Wuhan* 430034, *China*)

## Abstract

The semantic search during creative thinking refers to the activation process of semantic information in long-term memory involved in creative activities. Influential theory has posited that the semantic activation process in free recall shows spreading activation within semantic networks and is characterized by negative acceleration and clustering. Unlike the free recall, it is necessary to suppress the dominant response and to activate novel and distant information during creative thinking. Therefore, one might expect different semantic search processes during creative thinking, but such a hypothesis has not yet been directly tested. To explore the semantic search process during creative thinking, the present study described the quantitative dynamic characteristics of answer generation in a divergent thinking test using a series of parameters, such as cumulative response distribution and semantic similarity.

The experiment employed a within-subject design with the task type (novel V.S. normal) as the independent variable. The experiment included two versions of alternative uses task (AUT): novel and normal AUT. In the novel AUT, participants were asked to report novel and valid uses for the daily-life items presented on the screen as many as possible, while in the normal AUT they were only asked to think of valid uses for objects as many as possible. During the experiment, participants completed two normal AUTs, followed by two novel AUTs. Each AUT lasted for three minutes. The novelty of responses and semantic similarity of responses were scored by participants themselves. The time function of the cumulative number of responses was fitted by the hyperbolic function, and clustering analysis was conducted based on the semantic similarity of responses.

The results showed that: (1) The cumulative response distribution in the novel AUT condition were negatively accelerating similar to semantic search during free recall, but the search speed in the novel AUT condition was slower than that of the normal AUT condition. (2) In the novel AUT condition, the semantic similarity between participants' responses and the questions (i.e., the items) was low and significantly lower than that in the normal AUT condition. (3) The responses in the novel AUT condition showed a significantly lower degree of clustering than that in the normal AUT condition. In the novel AUT condition, the semantic similarity between the clusterable and non-clusterable answers and the questions were low and not significantly different. Furthermore, there was no significant difference between the clusterable and non-clusterable answers in terms of novelty.

These findings indicated that the semantic search during creative thinking was partly in line with spreading activation theory of semantic search in free call. But the search speed was relatively slower. Furthermore,

the novelty requirement prompted the participants to break up the semantic restriction of the item at the initial search and avoid nearby search. The participants tended to generate few idea in each semantic field. However, when it is far away from the item in the semantic field, individuals might generate clustering ideas.

**Key words**　creative thinking, semantic search, negative acceleration, clustering, semantic similarity

chinaXiv:202303.08473v1